



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN BIOLOGÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

## MEMORIA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

### Título del trabajo

**Impacto de la invasora *Oxalis pes-caprae* en las interacciones planta-insecto:  
evaluación de costes y beneficios para la nativa *Sinapis arvensis***

--

**Impacto da invasora *Oxalis pes-caprae* nas interaccións planta-insecto:  
evaluación de costes e beneficios para a nativa *Sinapis arvensis***

--

**Impact of the invasive *Oxalis pes-caprae* on plant-insect interactions:  
evaluation of costs and benefits for the native *Sinapis arvensis***



**Alumno: MARTICORENA CABEZAS, MARTÍN**  
**Junio, 2018**

Tutores académicos:  
**Prof. Dr. SERGIO RODRÍGUEZ ROILLOA**  
**Prof. Dra. VICTORIA FERRERO VAQUERO**







**DR. SERGIO RODRÍGUEZ ROILLOA, PROFESOR AYUDANTE DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA ANIMAL, BIOLOGÍA VEGETAL Y ECOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE A CORUÑA Y VICTORIA FERRERO VAQUERO, INVESTIGADORA POSTDOCTORAL EN LA UNIVERSIDAD DE COIMBRA (PORTUGAL) Y EN IHSM LA MAYORA (ESPAÑA).**

**INFORMA:**

Que la presente memoria de Trabajo de Fin de Grado (TFG) titulada “**Impacto de la invasora *Oxalis pes-caprae* en las interacciones planta-insecto: evaluación de costes y beneficios para la nativa *Sinapis arvensis*.**” presentada por **D. MARTÍN MARTICORENA CABEZAS** ha sido realizada bajo mi dirección, y considerando que cumple con las condiciones exigidas autorizo su presentación ante el Tribunal correspondiente.

Y para que así conste, firman la presente en A Coruña, a 21 de junio de 2018.

Digitally signed by  
RODRIGUEZ ROILLOA SERGIO -  
35322179K  
DN: c=ES,  
serialNumber=IDCES-3532217  
9K, givenName=SERGIO,  
sn=RODRIGUEZ ROILLOA,  
cn=RODRIGUEZ ROILLOA  
SERGIO - 35322179K  
Date: 2018.06.21 10:49:11  
+02'00'

Fdo. Sergio Rodríguez Roilola.

**FERRERO  
VAQUERO  
VICTORIA -  
71020482R**

Firmado digitalmente por  
FERRERO VAQUERO VICTORIA  
- 71020482R  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=ES,  
serialNumber=IDCES-7102048  
2R, givenName=VICTORIA,  
sn=FERRERO VAQUERO,  
cn=FERRERO VAQUERO  
VICTORIA - 71020482R  
Fecha: 2018.06.21 08:32:22  
+02'00'

Fdo. Victoria Ferrero Vaquero

**Sergio R. Roilola**

Profesor Axudante Doutor  
Departamento de Bioloxía Vexetal, Bioloxía Animal  
y Ecoloxía Facultade de Ciencias – Universidade da  
Coruña

**Email:** [sergio.roilola@udc.es](mailto:sergio.roilola@udc.es)  
**Fax:** (+34) 981167065  
**Tfno:** (+34) 981 16 70 00 ext. 2159  
**<http://ciencias.udc.es/bave>**

**Victoria Ferrero, PhD**

Centre for Functional Ecology-CFE / Department of Life  
Sciences / University of Coimbra / Calçada Martim de  
Freitas 3000-456 / PORTUGAL  
Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea  
“La Mayora” IHSM, UMA-CSIC / Est. Exp. La Mayora /  
E-29750 Algarrobo-Costa (Málaga), SPAIN

**Email:** [victoferrero@gmail.com](mailto:victoferrero@gmail.com)  
**Tfno:** (+34) 605227192  
**[http://www.researchgate.net/profile/Victoria\\_Ferrero/](http://www.researchgate.net/profile/Victoria_Ferrero/)**  
**<http://scholar.google.es/citations?user=9vQEnjcAAAAJ&hl=en>**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a mis tutores, Sergio R. Roiloa y Victora Ferrero Vaquero sin los cuales no sería posible la realización de este trabajo. Muchas gracias por vuestra ayuda, paciencia, dedicación, comprensión y sobre todo por haberme ayudado a aprender y compartir vuestros conocimientos conmigo.

Deseo dar también las gracias a todas esas personas que me ayudaron indirectamente: a mis compañeros de facultad y profesores que me han animado y contagiado entusiasmo en muchas ocasiones y en especial cuando más lo necesitaba. Dar las gracias en especial a la persona que ha hecho posible que pudiera estudiar esta carrera por confiar en mí, aunque ya no pueda ver como la termino, te lo dedico a ti y también especialmente a la persona que me inspiró la realización de este proyecto y por soportar interminables horas de explicación y ayudarme en todo momento.



## ÍNDICE

---

<b>RESUMEN/ RESUMO/ ABSTRACT</b> .....	1-2
<b>1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</b> .....	3-6
1.1 Características de las plantas invasoras.....	3
1.2 Las invasiones biológicas en la interacción planta-insecto.....	3-5
1.3 Impacto de las plantas invasoras en la interacción planta-insecto.....	5
1.4 Objetivos e hipótesis.....	6
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	6-13
2.1 Marco de estudio.....	6-9
2.1.1 <i>Oxalis pes-caprae</i> L.	
2.1.1.1 Taxonomía y características.....	6
2.1.1.2 Origen y dispersión.....	6-7
2.1.1.3 Impactos y amenazas.....	7
2.1.2 <i>Sinapis arvensis</i> L.	
2.1.2.1 Taxonomía y características.....	8
2.1.2.2 Origen y dispersión.....	8-9
2.2 Diseño experimental.....	9
2.3 Procedimiento.....	10-12
2.4 Toma de datos.....	13
2.5 Tratamiento estadístico de los datos.....	13
<b>3. RESULTADOS</b> .....	14-17
3.1 Estudio de la riqueza específica y frecuencias de visitas en insectos polinizadores.....	14-15
3.2 Preferencias en la polinización de los grupos funcionales de insectos.....	16-17
<b>4. DISCUSIÓN</b> .....	18-20
4.1 Estudio de la riqueza específica y frecuencias de visitas en insectos polinizadores.....	18-19
4.2 Preferencias en la polinización de los grupos funcionales de insectos.....	19-20
<b>5. CONCLUSIONES/ CONCLUSIONS</b> .....	20-21
<b>6. GLOSARIO</b> .....	22
<b>ANEXO</b> .....	23
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	23-25



## RESUMEN

El objetivo de este estudio es investigar si el efecto que las especies de plantas invasoras tienen sobre la polinización de las especies de plantas nativas depende de la densidad de las mismas en un determinado parche. En particular se estudiaron las interacciones planta-insecto en una especie de planta nativa (*Sinapis arvensis*) en presencia y ausencia de otra con morfología floral similar y floración simultánea: la invasora *Oxalis pes-caprae*. Se registró la tasa de visitas en las parcelas y las tasas de flores visitadas y se identificaron los grupos funcionales de polinizadores más frecuentes. Se encontró que la especie invasora *O. pes-caprae* no tiene efecto facilitador en cuanto a la atracción de visitas de polinizadores para la especie nativa *S. arvensis*. Es la densidad en la que se encuentra *S. arvensis* en la parcela la que afecta a la tasa de visitas de los polinizadores, aumentando la tasa de visitas cuando la densidad es alta. Sin embargo, esta densidad no afecta de forma significativa al número de flores que son visitadas por planta. Los polinizadores de trompa corta son los que más visitan, sobre todo cuando la densidad de la nativa es alta. Aunque no encontramos un efecto de *O. pes-caprae* sobre las visitas, es posible que exista un efecto en la calidad de polen que se deposita en los estigmas y, por tanto, sobre el éxito reproductivo (semillas) de *S. arvensis*. Así, se proponen futuros estudios para testar esta hipótesis.

**Palabras clave:** Características florales, competición, densidad, facilitación, geitonogamia, invasión biológica, *Oxalis pes-caprae* L., polinización, polinizadores, *Sinapis arvensis* L., tratamientos florales.

## RESUMO

O obxectivo deste estudo é investigar si o efecto que as especies de plantas invasoras teñen sobre a polinización das especies de plantas nativas depende da densidade das mesmas nun determinado parche. En particular estudáronse as interaccións planta-insecto nunha especie de planta nativa (*Sinapis arvensis*) en presenza e ausencia doutra con morfoloxía floral similar e floración simultánea: a invasora *Oxalis pes-caprae*. Rexistrouse a taxa de visitas nas parcelas e as taxas de flores visitadas e identificáronse os grupos funcionais de polinizadores máis frecuentes. Atopouse que a especie invasora *O. pes-caprae* non ten efecto facilitador en canto á atracción de visitas de polinizadores para a especie nativa *S. arvensis*. É a densidade na que atópase *S. arvensis* na parcela a que afecta á taxa de visitas dos polinizadores, aumentando a taxa de visitas cando a densidade era alta. Porén, esta densidade non afecta de forma significativa ao número de flores que son visitadas por planta. Os polinizadores de trompa curta son os que máis visitan, sobre todo cando a densidade da nativa era alta. Aínda que non atopamos un efecto de *O. pes-caprae* sobre as visitas, é posible que exista un efecto na calidade do pole que se deposita nos estigmas e, por tanto, sobre o éxito reproductivo (sementes) de *S. arvensis*. Así, propóñense futuros estudos para testar esta hipótese.

**Palabras chave:** Características florais, competición, densidade, facilitación, invasión biolóxica, *Oxalis pes-caprae* L., polinización, polinizadores, *Sinapis arvensis* L., xeitonogamia.



## ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effect of invasive plants on the pollination of native plant species, and to determine if this effect depends on the density of native plants. In particular, plant-insect interactions were studied in a native plant (*Sinapis arvensis*) in presence or absence of a plant with similar floral morphology and simultaneous flowering: the invasive *Oxalis pes-caprae*. Specifically, entrances to the patch and flower visitation rates by pollinators were recorded. In addition, the most frequent pollinator insects were identified. The results did not show a facilitation effect of *O. pes-caprae* for *S. arvensis* in terms of pollinator attraction. Still, high density of *S. arvensis* in the patches increased the pollinators' visitation rate. *S. arvensis*'s density did not significantly affect the number of flowers visited per plant. Short-tongued pollinators performed the highest number of visits, especially when native plants occurred at high density. Although our results did not detected a significant effect of *O. pes-caprae* on the visitation rates, it is plausible that the invasive species would have an effect on the pollen quality deposited at the stigmas, and therefore an effect on the reproductive success (seed production) of the native plant *S. arvensis*. Future studies to test this hypothesis are proposed.

**Keywords:** Biological invasion, competition, density, facilitation, floral characteristics, geitonogamy, *Oxalis pes-caprae* L., polinization, pollinators, *Sinapis arvensis* L.

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

### 1.1 Características de las plantas invasoras

Las plantas invasoras son aquellas plantas que, una vez son introducidas en un nuevo ecosistema, son capaces de sobrevivir en el mismo, reproducirse eficazmente y producir un daño en él<sup>1</sup>. Desde hace décadas existe un gran interés científico tanto en las características que confieren a las plantas invasoras su potencial invasor en ambientes donde no estaban previamente adaptadas, como en su impacto en estas nuevas áreas.

Generalmente las plantas invasoras reúnen ciertas características que las hacen mejores invasoras que otras en determinadas circunstancias. El primero en definir el concepto fue Baker en 1965<sup>2</sup>, ofreciendo una visión de las mismas como malas hierbas anuales de ambientes ruderales que crecen a una tasa elevada produciendo gran cantidad de semilla. Esta descripción excluye a las plantas leñosas<sup>1</sup>.

**Las especies exóticas invasoras afectan a la composición y funcionamiento de los ecosistemas invadidos de muchas maneras**, una de ellas es alterando las interacciones ecológicas que han surgido a través de largos periodos de tiempo evolutivo, es decir saltándose de alguna manera los procesos normales de selección evolutiva.

### 1.2 Las invasiones biológicas en la interacción planta-insecto

Las invasiones biológicas causadas por introducción de especies exóticas producen desplazamiento local de especies nativas provocando cambios en la estructura de la comunidad y modificando las funciones ecosistémicas presentes<sup>3</sup>.

En general, las especies de plantas de floración simultánea y morfología floral similar pueden interferir entre ellas en sus procesos de polinización porque influyen en la cantidad de visitas de polinizadores y/o la calidad de polen que se transfiere. Estos efectos sobre la polinización pueden depender de cómo los polinizadores responden a los recursos florales en múltiples niveles<sup>4</sup>. La presencia de dos especies de plantas con floración simultánea puede incrementar las visitas de los polinizadores debido al incremento global de recursos o recompensas<sup>5,6</sup>.

Por otro lado, la presencia de una determinada especie puede disminuir el número de visitas de otra con la que comparte espacio. Las especies invasoras, por tanto, pueden aumentar la atracción de polinizadores hacia las plantas nativas, pero también pueden “robarlos”, en el sentido de que estos dejen de visitar las nativas para visitarlas solo a ellas. Además se sabe que las especies de plantas invasoras pueden cambiar los patrones de polinización de muchas maneras: reduciendo la presencia de ciertas especies de polinizadores nativos, haciendo desaparecer ciertas interacciones planta-polinizador o aumentando la presencia de polinizadores exóticos, a veces menos eficientes<sup>7-10</sup>. Debido a estos cambios en los polinizadores la comunidad también puede experimentar un aumento o una disminución en las tasas de visita sobre especies nativas que florecen al mismo tiempo<sup>11-13</sup>.

Los cambios en las visitas de los polinizadores, ya sea comportamental o por modificaciones en sus abundancias suelen reducir el éxito reproductivo de las plantas nativas<sup>14-16</sup>. La presencia de una especie de planta exótica similar en forma floral a la nativa puede provocar una reducción en la deposición de polen conspecífico (CP), que es el polen legítimo o procedente de individuos de su misma especie, el cual puede perderse en visitas a la planta exótica. Del mismo modo, la planta nativa puede experimentar un aumento en la deposición de polen heteroespecífico (HP) en el estigma, procedente de otra especie.

Los resultados de estas interacciones pueden depender de las características del parche o parcela donde se sitúa, y de la misma planta<sup>16</sup>. Además, los polinizadores presentan respuestas conductuales específicas respecto al parche y características de la planta los cuales finalmente se traducen en un efecto sobre la cantidad y la calidad de la polinización. Esto se puede observar a modo de resumen en la **Fig. 1**.



**Fig. 1** Esquema de interacción planta-insecto en los servicios de polinización en hábitats alterados en presencia de especies de plantas nativas y exóticas.  $\oplus$   $\ominus$  Indican un efecto de incremento/detrimento sobre el elemento señalado respectivamente. Las líneas continuas indican efectos directos sobre el elemento señalado y las líneas discontinuas indican efectos indirectos. Componente de cantidad: número de visitas. Componente de calidad: fidelidad de las visitas. Fuente: Modificado de<sup>16,17</sup>.

Este comportamiento depende de algunos aspectos de la comunidad de plantas<sup>18</sup>:

En relación a las características del parche cabe destacar:

1. **Densidad floral:** se relaciona positivamente con el aumento de la frecuencia de visitas de polinizadores a las parcelas<sup>19-21</sup>, debido al aumento del atractivo floral de los parches<sup>22</sup> ya que es esperable que los parches más grandes y densos atraigan más a los polinizadores<sup>12,23-25</sup> y a que los polinizadores minimizan costes de forrajeo cuando las plantas se encuentran más cercanas<sup>20</sup>.

Cuando la densidad de las plantas en una parcela es muy baja, en ocasiones estas parcelas tienen muy pocas visitas y reciben muy poco polen conespecífico. En estos casos se dice que las plantas están limitadas por el polen en su reproducción<sup>23</sup>.

2. Composición de las especies de la parcela: los polinizadores pueden escoger en cada parcela qué planta visitar en función de preferencias innatas y aprendizaje<sup>26,27</sup> de este modo las plantas invasoras pueden facilitar que las nativas sean más visitadas (efecto positivo) al atraer más insectos hacia ellas<sup>28-30</sup>. Puede ocurrir también que la presencia de una especie no afecte a la otra de ningún modo (efecto neutral).

#### En relación a las características de las plantas cabe destacar:

Las estrategias reproductivas de las plantas pueden mitigar o aumentar los efectos resultantes de cambios en los servicios ecosistémicos. Por ejemplo, las plantas pueden tener un sistema de incompatibilidad que evita que ocurran fecundaciones dentro de la misma planta promoviendo así la polinización cruzada. Esta autoincompatibilidad está mediada por interacciones polen-pistilo y está presente en las plantas de la familia de la mostaza (p. ej. *Sinapis arvensis*). En este caso existen receptores polimórficos y ligandos que median el reconocimiento e inhibición de polen propio<sup>31</sup>. En las plantas con autocompatibilidad, la geitonogamia (cruces que ocurren dentro de la misma planta) puede afectar al éxito reproductivo de una manera negativa, ya que los cruces que se dan dentro de la misma planta no son efectivos (no forman frutos) y, además, implican una pérdida de polen útil en polinizaciones no efectivas<sup>16</sup>.

#### 1.3 Impacto de las plantas invasoras en la interacción planta-insecto

Como se ha comentado anteriormente, la presencia de una nueva especie de planta en una localización puede tener efecto de facilitación o de competición por los polinizadores respecto a otra. Las especies nativas suelen ser más susceptibles a la limitación de polen y más propensas a experimentar desventajas físicas en hábitats con abundancia de plantas alóctonas semejantes<sup>32-34</sup>. El efecto de las invasoras va a depender tanto del comportamiento de los polinizadores como del tamaño y composición de la población y la distancia entre parches de plantas nativas. Normalmente se produce mayor interferencia cuando los parches de plantas son pequeños y espaciados que cuando son grandes y cercanos<sup>4</sup>.

Sin embargo, no existen muchos trabajos que hayan considerado cómo la densidad de la planta nativa en estos parches puede amortiguar/ensalzar estos efectos, ni tampoco cómo este efecto va a depender de su sistema reproductivo. Por un lado, es esperable que la presencia de una especie invasora en gran abundancia (es decir, como suelen estar presentes este tipo de especies) suponga un reclamo para los polinizadores y que este reclamo pueda tener un efecto positivo o negativo sobre la nativa. Por otro lado, esperamos que ese efecto varíe dependiendo de la densidad a la que se encuentra la especie nativa en los parches ya que, si es una especie autoincompatible, un mayor número de visitas sobre la misma planta resulta en una mayor tasa de cruces incompatibles.

#### 1.4 Objetivos e Hipótesis

El objetivo de este trabajo es investigar si el efecto que las especies invasoras tienen sobre la polinización de las nativas depende de la densidad de plantas nativas en un determinado parche. Para ello utilizaremos dos especies de plantas, una nativa de la Península Iberica (*Sinapis arvensis*) y una invasora en el mediterráneo procedente de Sudáfrica (*Oxalis pes-caprae*).

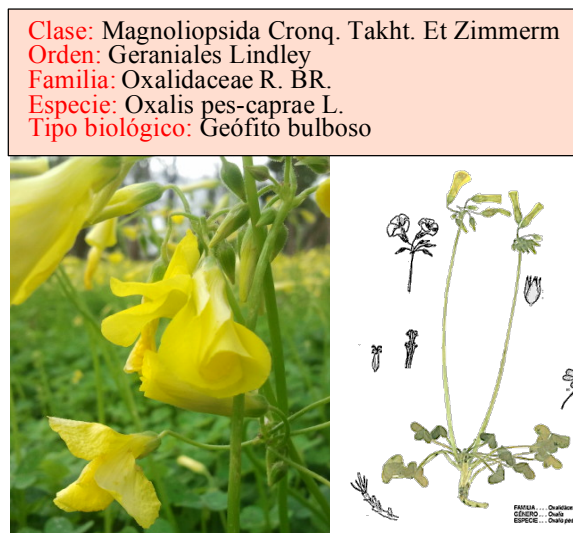
Las hipótesis propuestas son que: (i) *Oxalis pes-caprae* puede actuar como facilitadora de visitas de polinizadores para *S. arvensis* dada su abundancia como invasora en el norte de España, pero puede tener efectos negativos sobre la reproducción de *S. arvensis* si los polinizadores dejan de visitarla. (ii) Por otra parte, es esperable que un mayor número de individuos nativos en una determinada parcela atraigan y retengan más polinizadores.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Marco de estudio

#### 2.1.1 *Oxalis pes-caprae* L.

##### 2.1.1.1 Taxonomía y características



**Fig. 2 Izda** Inflorescencia de *Oxalis pes-caprae* L. **Dcha.** Ilustración botánica de *Oxalis pes-caprae* L. Fuente: <http://www.redes-cepalcala.org/>

Se trata de un caméfito agriófito de hoja trifoliada, con una inflorescencia (umbela) que porta entre 3 y 5 flores de simetría pentámera (**Fig. 2 Izda.**) y un sistema radicular formado por rizomas y bulbillos (**Fig. 2 Dcha.**).

### 2.1.1.2 Origen y dispersión

*Oxalis pes-caprae* L. es una especie originaria de la región del cabo (Sudáfrica). Su estrategia reproductiva es la tristilia (3 morfos florales) que promueven la polinización cruzada entre plantas. Ya que la especie carece de uso agrícola y ornamental su introducción ha sido accidental (dispersión de semillas o diásporas) probablemente ligada al transporte de cítricos desde el sur del continente africano a Europa mediterránea en varias ocasiones. Su primera aparición europea fue en el año 1806, en Malta y desde el mediterráneo ha ido propagándose hasta llegar a España en 1850. Es abundante en regiones costeras sobre todo mediterráneas, concentrándose en España en la costa mediterránea pero su tendencia de avance es fuertemente expansiva, incluso hacia zonas cada vez más frías como República Checa<sup>35</sup> (ver **Fig. 3**).



**Fig. 3** Establecimiento de *O. pes-caprae* desde 1850 hasta la actualidad (en periodos de 20 años) Fuente: <https://www.gbif.org/species/2891661>

La principal vía de dispersión de *O. pes-caprae* es antropócara (contaminación de tierras con residuos de jardinería o agrícolas que contienen bulbillos) y otros vectores como ornitocoria, hidrocoria o anemocoria. A esto se une que cada planta puede producir 20 bulbillos por año. Otros fenómenos de dispersión podrían tener importancia como el reciente descubrimiento de reproducción sexual tras múltiples introducciones de morfos florales compatibles en el área oeste de la cuenca mediterránea<sup>6,36</sup>.

### 2.1.1.3 Impactos y amenazas

*Oxalis pes-caprae* produce daños económicos por su condición de mala hierba al invadir de forma extensa terrenos de cultivo y ambientales debido a que forman un dosel vegetativo que acapara luz y espacio desplazando a la flora nativa inhibiendo así la germinación de las semillas. Además, su instalación en dunas mineraliza y estabiliza las mismas permitiendo la colonización de especies ruderales<sup>35</sup>.



### 2.1.2 *Sinapis arvensis* L.

#### 2.1.2.1 Taxonomía y características

**Clase:** Magnoliopsida Cronq. Takht. Et Zimmerm  
**Orden:** Brassicales Bromehead, 1838  
**Familia:** Brassicaceae Burnett 1835  
**Especie:** *Sinapis arvensis* L.  
**Tipo biológico:** Terófito

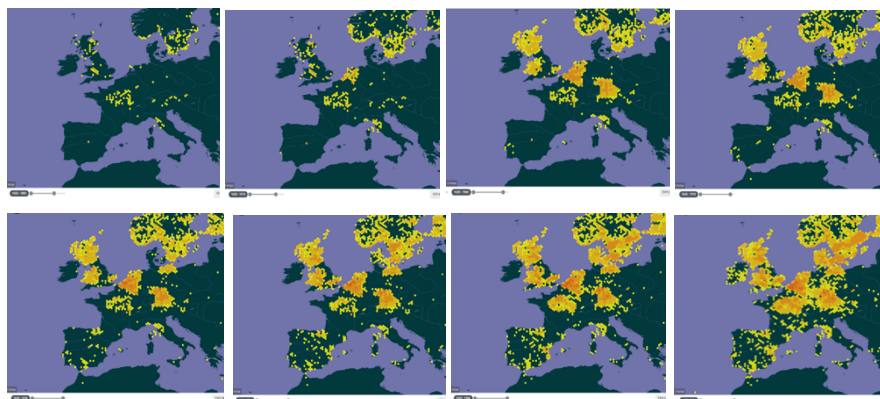


**Fig. 4 Izda.** Inflorescencia de *Sinapis arvensis* L. **Dcha.** Ilustración botánica de *Sinapis arvensis* L. Fuente: [https://www.botanicalonline.com/mostaza\\_sinapis\\_arvensis](https://www.botanicalonline.com/mostaza_sinapis_arvensis)

Planta vivaz de hasta 1 m de altura de tallos cilíndricos muy ramificados, hojas pecioladas bilobuladas o trilobuladas distribuidas en el mismo alternamente y con diferencias morfológicas entre hojas basales y apicales. Posee raíces rizomáticas. Su inflorescencia es un racimo terminal erecto que porta flores pedunculadas de simetría tetrámera. Sus flores desprenden un agradable olor y son melíferas (**Fig. 4 Dcha**).

#### 2.1.2.2 Origen y dispersión

*Sinapis arvensis* L. es una especie nativa de Europa, pero introducida y naturalizada en Norteamérica. De dispersión ruderal y suelos nitrificados. La primera aparición en España data del 1850 (**Fig. 5**) al igual que *O. pes-caprae*, pero a diferencia de ella *S. arvensis* es nativa de Europa y su extensión hacia el sur estuvo ligada a la agricultura.



**Fig. 5** Establecimiento de *O. pes-caprae* desde 1850 hasta la actualidad (en periodos de 20 años) Fuente: <https://www.gbif.org/species/3047598>.



Así se puede decir que *S. arvensis* y *O. pes-caprae* llevan cohabitando espacios comunes unos 168 años.

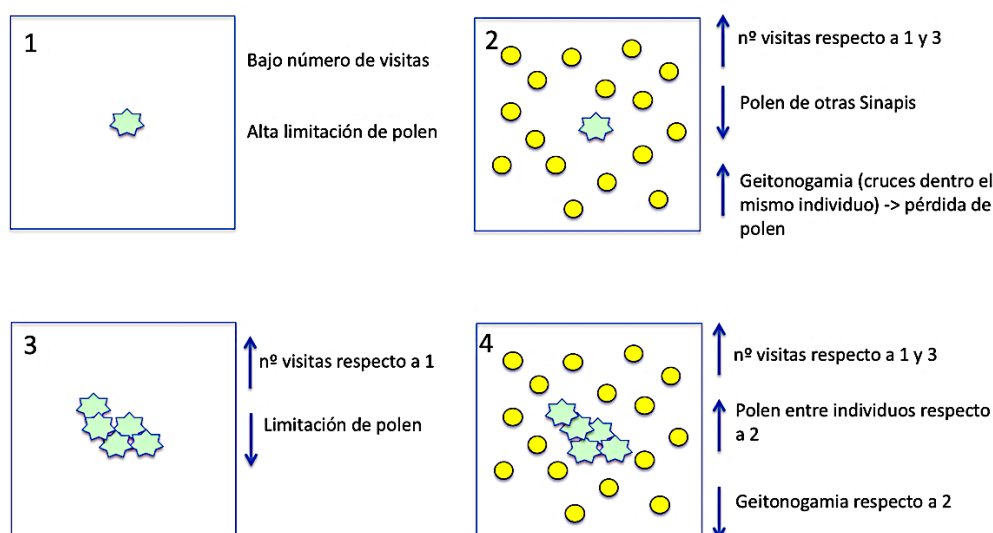
Se sabe que *S. arvensis* es autoincompatible y en un estudio con *Brassica napus*, especie hermana de *Sinapis*, se describió que la presencia de insectos polinizadores, especialmente *A. mellifera*, aumentaba la productividad de semillas<sup>32</sup>.

Los polinizadores más habituales de *S. arvensis*, pertenecen a cinco órdenes de insectos entre ellos coleópteros, siendo el género *Meligethes* el más frecuente, Hymenoptera parasitas y dentro de los Dyptera, la familia Muscidae. Pero la superfamilia Apoidea (excepto *Apis*) es la familia de polinizadores más frecuente en *S. arvensis*, constituyendo un total de 7 géneros y 23 especies de abejas silvestres. En *S. arvensis* la abundancia y riqueza de especies de abejas silvestres se correlaciona con el número de visitas florales<sup>37</sup>.

## 2.2 Diseño experimental

En la primavera de 2017 se estudió el sistema de polinización de *Sinapis arvensis*, así como el elenco de polinizadores más habitual y su tasa de visitas en el Parque de As Galeras y proximidades en Oleiros, A Coruña<sup>32</sup>.

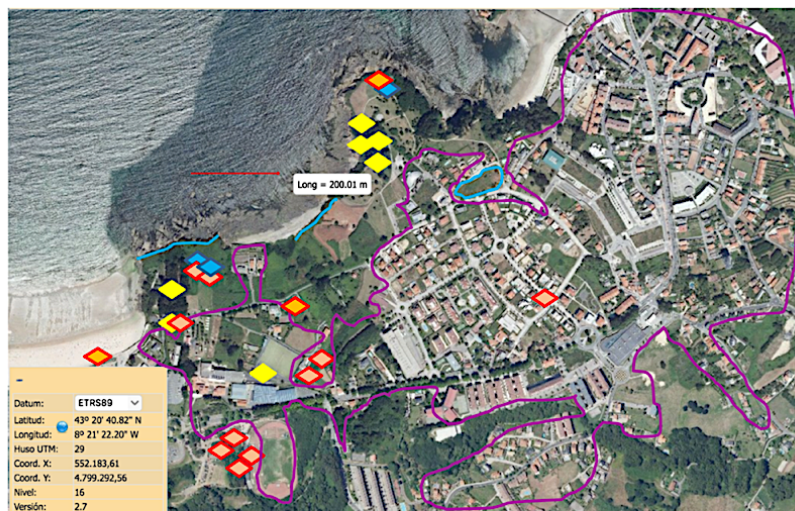
Para la planificación del ensayo experimental de campo se plantearon 4 tratamientos experimentales que constaban de 3 réplicas cada uno constituyéndose así 12 parcelas (**Fig. 6**). En cada uno de los tratamientos se presuponen los siguientes efectos sobre la polinización resultado de la interacción entre insecto polinizador-densidad de planta nativa-presencia/ausencia de planta invasora.



**Fig. 6** Tratamientos experimentales. 1) Baja densidad de *Sinapis arvensis*- Ausencia de *Oxalis pes-caprae* 2) Alta densidad de *S. arvensis*- Ausencia de *O. pes-caprae*. 3) Baja densidad de *S. arvensis*- Presencia de *O. pes-caprae*. 4) Alta densidad de *S. arvensis*- Presencia de *O. pes-caprae*. ★, *S. arvensis*; ●, *O. pes-caprae*.

### 2.3 Procedimiento

En primer lugar, se realizó un estudio fitosociológico en el área de estudio para observar poblaciones de *S. arvensis* y *O. pes-caprae* tanto aisladas como en convivencia con la flora dominante y/o acompañante (**Fig. 7**). En base a este se diseñó un mapa de parcelas en función de la densidad de *O. pes-caprae* (**Fig. 8**).



**Fig. 7** Localización fitosociológica de las especies de interés del estudio junto a *Raphanus* sp. y *U. europaeus* en el área de muestreo. Fuente: <http://sigpac.jccm.es/visorsigpachtml5/>

◆ *Raphanus* ◆ *Oxalis* ◆ *Sinap* — Propiedades privadas o inaccesibles  
— Área dominada por *U. europaeus*, ausencia *Oxalis*



□ No O., pocos S. □ No O., muchos S. □ Si O., pocos S. □ Si O., muchos S.

**Fig. 8** Mapa de parcelas en Parque de As Galeras y proximidades en Oleiros, A Coruña.

O: *Oxalis pes-caprae*. S.: *Sinapis arvensis*. Fuente: <http://sigpac.jccm.es/visorsigpachtml5/>

En el mes de marzo de 2017 fueron extraídos 60 especímenes semejantes en tamaño y floración de *S. arvensis* con cepellón utilizando instrumental manual de jardinería e interfiriendo lo mínimo posible en el sistema radicular de las plantas (**Fig. 9**).



**Fig. 9** Diagrama explicativo del área de estudio. Fuente: <http://sigpac.jccm.es/visorsigpachtml5/> (Superior y media)

Con el fin de homogeneizar las condiciones de muestreo, las plantas pasaron un periodo de 2 semanas y media (16 marzo - 7 abril) con riegos en días alternos en un recinto confinado en la azotea de la UDC.

El último día de aclimatación (óptimas condiciones climáticas y floración del conjunto) las plantas fueron trasladadas cuidadosamente desde la terraza de la facultad de la UDC a su destino final (Parque As Galeras, Bastiagueiro) evitando la caída de flor. Los individuos de *S. arvensis* se plantaron en su lugar definitivo, sin maceta, previa fijación e instalación de las parcelas, observándose en ellos buen desarrollo radicular.

Las parcelas se distribuyeron siguiendo un diseño factorial con presencia y ausencia de *Oxalis* junto a ellas y alta y baja densidad de *Sinapis*. Una vez determinadas las localizaciones destinadas a cada parcela/tratamiento se procedió de una forma homogénea para el trasplante haciendo un hoyo acorde al contenedor de el/los individuo/s y regando posteriormente a las 17 h con 0,5 l de agua por individuo/día a fin de evitar un posible estrés hídrico post-trasplante.

Las parcelas de baja densidad de *S. arvensis* para ambos tratamientos (sin y con *Oxalis*) (**Fig. 10**, 1-3, 7-9) constaban de un individuo/planta con al menos 10 flores abiertas en el momento del trasplante. Para las parcelas de los tratamientos de alta densidad de *Sinapis* (sin y con *Oxalis*) (**Fig. 10**, 4-6, 10-12) fue plantado un número de individuos que correspondiese al menos a 50 flores abiertas/parcela en el momento del trasplante.



**Tratamiento 1: Sin *Oxalis* – Baja densidad *Sinapis***



N° 1

N° 2

N° 3

**Tratamiento 2: Sin *Oxalis* – Alta densidad *Sinapis***



N° 4

N° 5

N° 6

**Tratamiento 3: Con *Oxalis* – Baja densidad *Sinapis***



N° 7

N° 8

N° 9

**Tratamiento 4: Con *Oxalis* – Alta densidad *Sinapis***



N° 10

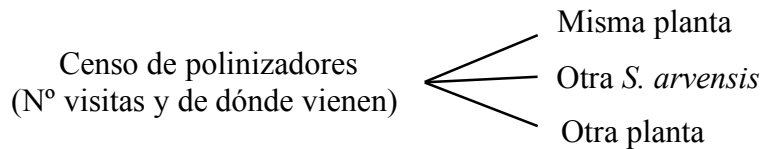
N° 11

N° 12

**Fig. 10** Parcelas experimentales del estudio.

## 2.4 Toma de datos

Durante los días 8.4.17 al 17.4.17 se llevaron a cabo censos de polinizadores en las parcelas de *S. arvensis*, contabilizando un total de 39 h de observaciones. Cada censo consistió en 10 minutos de observaciones en las que se registró el número de vistas y de donde vienen los insectos, pudiendo registrar 3 posibilidades:



Se compararon distintas variables entre parcelas con distinta abundancia y presencia de *Oxalis*:

- Riqueza específica de polinizadores: Contaje de número de especies presente en la parcela.
- Número de visitas: ratio que indica el número de veces que un polinizador ha efectuado una visita a la parcela corregido por el tiempo.
- Número de flores visitadas /disponibles por tiempo: ratio que indica el número de flores visitadas por los polinizadores corregido por las flores disponibles en la parcela en el momento del censo por el tiempo.

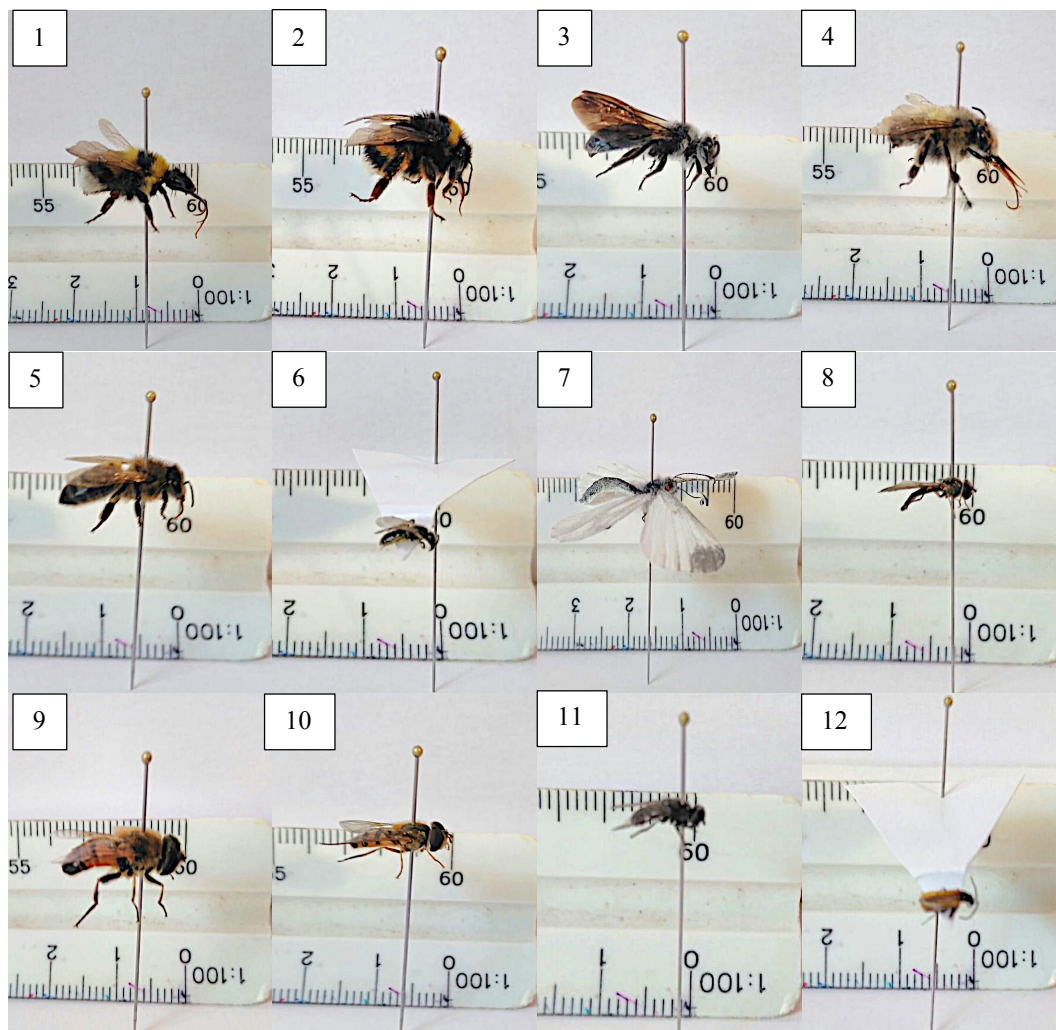
## 2.5 Tratamiento estadístico de los datos

Previamente al análisis estadístico se comprobó que los datos cumplieran los requisitos de normalidad (mediante el test Kolmogorov–Smirnov) y homogeneidad de varianza (mediante el test de Levene) necesarios para poder aplicar test paramétricos. En el caso de las variables anteriormente definidas los datos no cumplieron los requisitos de homogeneidad de varianza, y las transformaciones de los datos tampoco consiguieron converger con este criterio. Por lo tanto, para el análisis de estas se optó por el empleo del test no paramétrico Scheirer-Ray-Hare (un equivalente al ANOVA de dos vías). El nivel de significación aceptado fue de  $P < 0.05$  y el paquete estadístico utilizado fue el SPSS Statistics 21.0.0.0 (IBM, Armonk, New York, USA).



### 3. RESULTADOS

Entre los insectos observados, los más abundantes fueron *Scaeva albomaculata*, *Apis mellifera*, *Hylaeus sp.* y *Bombus terrestris*. El elenco de polinizadores de *S. arvensis* en el área de estudio consistió en 12 especies principalmente (**Fig. 11**).



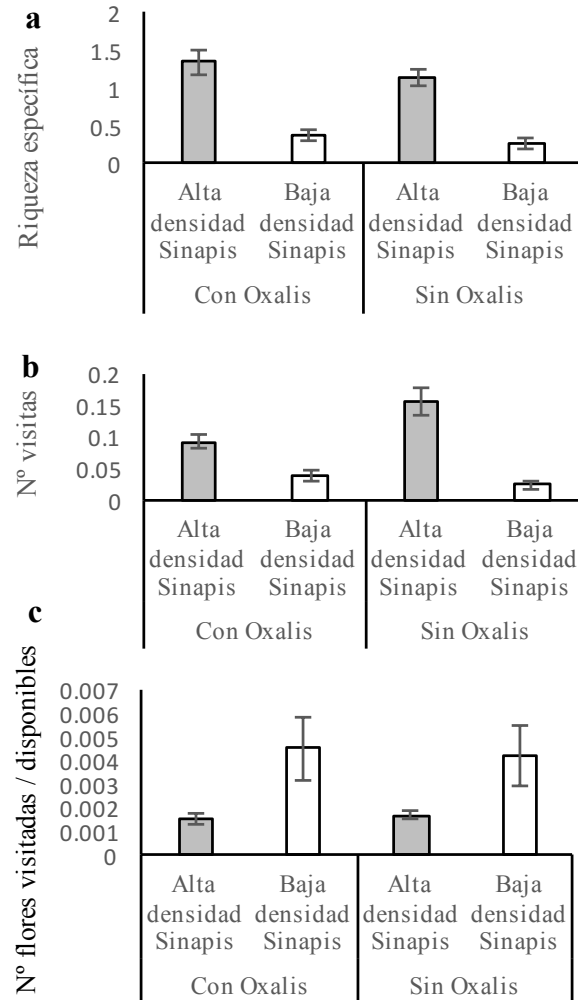
**Fig. 11** Colección entomológica de polinizadores del estudio. Los insectos fueron capturados en las inmediaciones del parque de As Galeras entre el 30 de abril y el 15 de mayo de 2017.

1. *Bombus hortorum* 2. *Bombus terrestris* 3. *Andrena sp.* 4. *Anthophora plumipes*
5. *Apis mellifera* 6. *Hylaeus sp.* 7. *Pieris brassicae* 8. *Scaeva albomaculata*
9. *Eristalis tenax* 10. *Episyrrhus balteatus* 11. *Muscidae* 12. *Cantharidae*.

#### 3.1 Estudio de la riqueza específica y frecuencias de visitas en insectos polinizadores

Nuestros resultados mostraron un efecto estadísticamente significativo de la densidad de *Sinapis* en la riqueza específica de polinizadores y el N° visitas (ver **Tabla 1**). Así, la alta densidad de *Sinapis* incrementa estas dos variables (Ver **Fig. 12 a-b**).

Sin embargo, los resultados no mostraron un efecto de la densidad de *Sinapis* en el número de flores visitadas/disponibles por planta (ver **Tabla 1** y **Fig 12. c**). Por otra parte, el test estadístico no mostró ningún efecto significativo de la presencia de *Oxalis* (ver **Tabla 1**).



**Fig. 12** Representación gráfica por tratamiento de medias y errores estándar para las variables: Riqueza específica de polinizadores (**a**), número de visitas por tiempo (**b**) y el número de flores visitadas / flores disponibles por tiempo (**c**).

**Tabla 1.** Resultados del test no paramétrico Scheirer-Ray-Hare. Resumen de la estadística de las variables: Riqueza específica de polinizadores, número de visitas por tiempo y el número de flores visitadas / flores disponibles por tiempo.






	Riqueza específica			N° visitas			N° Flores visitadas/disponibles		
	g.l.	F	P	g.l.	F	P	g.l.	F	P
<i>Oxalis</i>	1	0.347	0.555	1	1.308	0.252	1	0.078	0.779
<i>Sinapis</i>	1	11.210	<0.001	1	18.498	<0.001	1	0.677	0.410
<i>Oxalis</i> x <i>Sinapis</i>	1	0.029	0.864	1	0.08	0.776	1	0.391	0.531
Error	217			217			217		



### 3.2 Preferencias en la polinización de los grupos funcionales de insectos.

Debido a escasas visitas en el caso de algunas especies de insectos, estos se agruparon por grupo funcional en relación a su forma, tamaño y patrones de polinización (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Agrupación funcional de insectos polinizadores que por su forma, tamaño y patrones de polinización se espera que actúen de manera similar polinizando. Significado 1-5 (grupos funcionales de polinizadores): 1. Trompa larga, 2. Trompa corta - tamaño pequeño, 3. Trompa corta - tamaño mediano, 4. Lepidóptera, 5. Otros.

Grupo funcional	Especie
1. Trompa larga 	<i>Bombus hortorum</i>
	<i>Bombus pascuorum</i>
	<i>Bombus terrestris</i>
2. Trompa corta-tamaño pequeño 	<i>Scaeva albomaculata</i>
	<i>Hylaeus sp.</i>
3. Trompa corta-tamaño mediano 	<i>Andrena sp.</i>
	<i>Apis mellifera</i>
	<i>Episyrphus balteatus</i>
	<i>Eristalis tenax</i>
4. Lepidóptera 	<i>Aporia crataegi</i>
	<i>Pieris brassicae</i>
5. Otros 	<i>Cantharidae</i>
	<i>Formicidae</i>
	<i>Muscidae</i>

Los valores medios para cada polinizador para el número de visitas y flores visitadas por planta / flores disponibles se pueden ver en la **Tabla 3**.

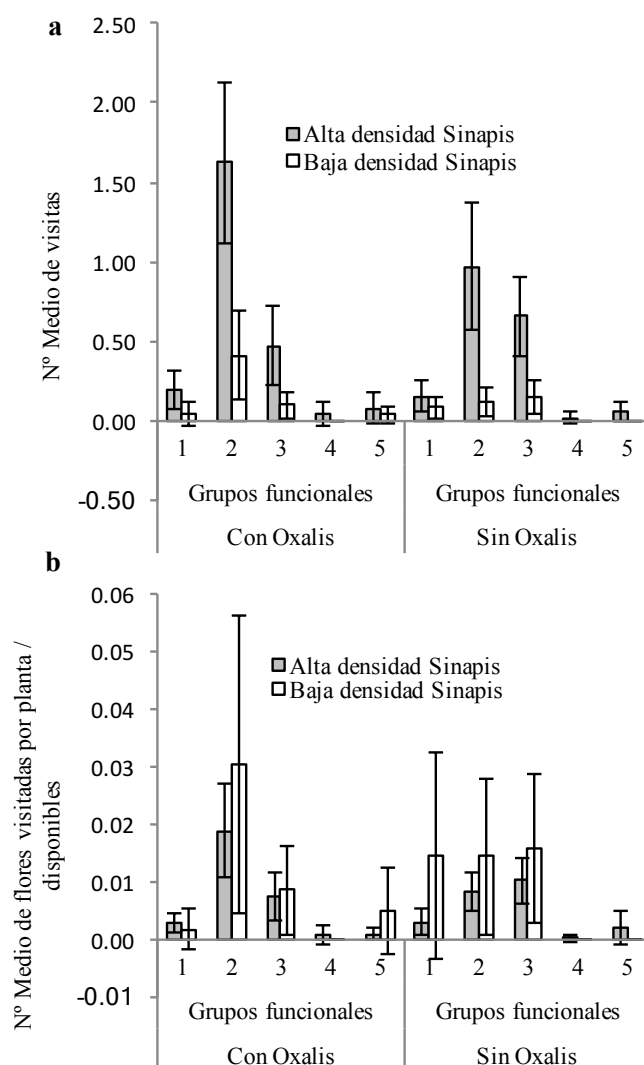
**Tabla 3.** Tabla descriptiva para cada polinizador (media  $\pm$  Error estándar)

Insecto	Nº visitas				Nº Flores visitadas por planta / disponibles			
	SA	CA	CB	SB	SA	CA	CB	SB
<i>Scaeva albomaculata</i>	4.8 $\pm$ 7.4	2.8 $\pm$ 2.3	1.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0	0.01 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.00
<i>Bombus terrestris</i>	1.6 $\pm$ 1.1	1.2 $\pm$ 0.4	3.0 $\pm$ 1.4	1.0 $\pm$ 0.0	0.02 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	0.09 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.02
<i>Hylaeus sp.</i>	1.5 $\pm$ 1.0	1.2 $\pm$ 0.6	1.1 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.4	0.02 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.04	0.12 $\pm$ 0.13	0.17 $\pm$ 0.14
<i>Bombus pascuorum</i>		1.0 $\pm$ 0.0		1.0 $\pm$ 0.0		0.02 $\pm$ 0.01		0.21 $\pm$ 0.00
<i>Apis mellifera</i>	2.2 $\pm$ 1.8	1.6 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.5	3.1 $\pm$ 4.9	0.03 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.02	0.07 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.10
<i>Episyrphus balteatus</i>	2.2 $\pm$ 1.2	1.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0		0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.00	
<i>Andrena sp.</i>				1.0 $\pm$ 0.0				0.12 $\pm$ 0.00
<i>Pieris brassicae</i>	1.0 $\pm$ 0.0				0.02 $\pm$ 0.00			
<i>Cantharidae</i>	1.0 $\pm$ 0.0		1.0 $\pm$ 0.0		0.03 $\pm$ 0.00		0.18 $\pm$ 0.00	
<i>Bombus Hortorum</i>	1.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0		1.0 $\pm$ 0.0	0.01 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00		0.50 $\pm$ 0.00
<i>Eristalis tenax</i>	1.0 $\pm$ 0.0				0.03 $\pm$ 0.00			
<i>Formicidae</i>		1.0 $\pm$ 0.0				0.01 $\pm$ 0.01		
<i>Muscidae</i>	1.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0		0.05 $\pm$ 0.05	0.01	0.07 $\pm$ 0.00	
<i>Aporia crataegi</i>		1.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0			0.04 $\pm$ 0.04		

**SA:** sin *Oxalis* - Alta densidad de *Sinapis*, **CA:** con *Oxalis* – Alta densidad de *Sinapis*, **CB:** con *Oxalis* - Baja densidad de *Sinapis*, **SB:** sin *Oxalis* – Baja densidad de *Sinapis*.

Posteriormente, con el objetivo de comparar el efecto de los tratamientos (densidad de *Sinapis* y presencia de *Oxalis*) en los diferentes grupos funcionales de polinizadores se procedió al cálculo su media y de su Error Estándar ( $\times 2$ ). Los resultados se muestran en la **Fig.13** y los valores se resumen en el **Anexo**.

Nuestros resultados sugieren que los grupos funcionales de trompa corta – tamaño pequeño (2) y trompa corta – tamaño mediano (3) son los que realizan un mayor número de visitas, siendo especialmente claro cuando las poblaciones de nativas se encontraban en alta densidad (ver **Fig. 13 a**), por tanto, en este sistema la presencia de *Oxalis* no parece influir en la atracción de los polinizadores tanto como la densidad en la que se encontraba *Sinapis*. Además, una vez que los polinizadores llegan a la parcela los resultados no sugieren un cambio de comportamiento en cuanto al número de flores visitadas (ver **Fig. 13 a**) ni en cuanto al número de flores visitadas/disponibles. (ver **Fig. 13 b**).



**Fig. 13** Representación gráfica por tratamiento de medias y Error Estándar ( $\times 2$ ) para las variables: Nº medio de visitas (**a**) y el Nº medio de flores visitadas por planta/disponibles (**b**) respecto a los grupos funcionales de polinizadores. (1-5): 1. Trompa larga, 2. Trompa corta - tamaño pequeño, 3. Trompa corta - tamaño mediano, 4. Lepidóptera. 5. Otros.

#### 4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio ha sido investigar si el efecto que las especies invasoras tienen sobre la polinización de las nativas depende de la densidad de plantas nativas en un determinado parche o parcela. En particular se estudiaron las interacciones planta-insecto que existen entre dos especies de plantas de morfología floral similar (mismo color y forma, aunque diferente disposición) y floración simultánea: la invasora *Oxalis pes-caprae* y la nativa *Sinapis arvensis*.

El hecho de que dos especies de plantas de morfología floral solapen su periodo de floración puede incrementar las visitas de los polinizadores debido al incremento global de recursos o recompensas<sup>5,6</sup>. No obstante, si una de las especies está presente en una abundancia muy superior a la otra puede llegar a monopolizar los servicios de polinización. El modo en que interaccionan las especies entre sí puede afectar a la cantidad de visitas de polinizadores y/o la calidad de polen que se transfiere, por lo tanto, es importante estudiar cómo los polinizadores responden a los recursos florales cuando los niveles de densidad varían<sup>4</sup>.

##### 4.1 Estudio de la riqueza específica de polinizadores y frecuencias de visitas de *Sinapis arvensis*

Nuestra primera hipótesis señalaba que *O. pes-caprae*, debido a su gran abundancia en el área invadida (noroeste de la Península Ibérica en nuestro estudio), podría actuar como una especie facilitadora de visitas de polinizadores para *S. arvensis* (efecto positivo). Sin embargo, nuestros resultados mostraron que la presencia de *O. pes-caprae* no ejerció efecto significativo en la riqueza específica de polinizadores, ni en el número de visitas, ni en el número de flores visitadas por planta, en relación con las flores disponibles. Trabajos previos han mostrado que *O. pes-caprae* tiene efectos distintos sobre los servicios de polinización de las especies nativas<sup>38</sup>. Así, *O. pes-caprae* puede actuar como facilitadora aumentando el número de visitas de las especies nativas como por ejemplo *Fumaria muralis*, *Raphanus raphanistrum* y *Vicia sativa*<sup>38</sup>. Sin embargo, también se ha encontrado que la presencia de *O. pes-caprae* puede ejercer un efecto negativo en las especies nativas, disminuyendo el número de visitas en *Brassica oleracea*<sup>38</sup>. En nuestro estudio, *O. pes-caprae* no produjo un efecto significativo sobre la especie nativa estudiada. Resultados similares de efecto neutro fueron encontrados en *Vicia faba* y *Melilotus italicus*<sup>38</sup>.

Por otra parte, esperábamos que un mayor número de individuos nativos en una determinada parcela pudiera atraer y retener más polinizadores. En este sentido, los resultados apoyan nuestra hipótesis. Así, observamos un efecto significativo de la densidad de *Sinapis* en la riqueza específica de polinizadores y en el número de visitas. Se produjo un incrementando de ambas variables cuando la densidad de la especie nativa era alta. Estudios previos han demostrado **que la densidad floral<sup>19-21</sup>, el atractivo floral<sup>22</sup> y la presencia de parches más grandes y densos<sup>12,23-25</sup> se relacionan de forma positiva con el aumento en las tasas de visitas de polinizadores a las parcelas.**

Este efecto además se verá incrementado gracias a que los polinizadores minimizan costes de forrajeo cuando las plantas se encuentran más cercanas entre sí<sup>20</sup>. Este hecho implica que en las parcelas en las que la densidad de la especie nativa es muy baja, el número de visitas de polinizadores también será bajo, provocando que las especies nativas estén limitadas por el polen para su reproducción<sup>23</sup>.

Finalmente, esperábamos que, si la densidad de plantas nativas en la parcela era muy baja, el número de cruces geitonógamos (dentro de la misma planta) aumentase, lo que tendría un efecto negativo sobre su éxito reproductivo al tratarse de una especie autoincompatible. Aunque estas tendencias han sido descritas con anterioridad<sup>16</sup>, nuestros resultados no mostraron diferencias en el número de flores visitadas por planta en situación de baja y alta densidad de *Sinapis*. Esta ausencia de diferencias podría deberse al pequeño tamaño muestral utilizado. Sería interesante incluir en futuros estudios un mayor número de censos. Es esperable que un tamaño muestral podría contribuir a reducir la varianza encontrada en el muestreo y detectar el efecto que ejercen las polinizaciones dentro de la misma planta (geitonogamia) sobre las bajas densidades poblacionales de la especie nativa.

#### 4.2 Preferencias en la polinización de los grupos funcionales de insectos

Como se ha comentado, las especies de plantas invasoras pueden modificar los patrones de polinización de muchas maneras<sup>7-10</sup>. Uno de esos cambios sería un aumento o una disminución en las tasas de visita sobre especies nativas que florecen al mismo tiempo<sup>11-13</sup>. Sin embargo, nuestros resultados no sugieren un cambio de tendencia en los patrones de polinización cuando *O. pes-caprae* estaba presente ya que los mismos grupos funcionales siguen llevando a cabo los servicios de polinización independientemente de la presencia de la invasora.

Los polinizadores más frecuentes en los miembros de la familia Brassicaceae (como *S. arvensis*) pertenecen al orden Diptera y a la superfamilia Apoidea<sup>37</sup>. Estos dos grupos son insectos de trompa corta. Este grupo funcional de polinizadores (trompa corta) efectúa visitas con preferencia polínica en vez de buscar néctar<sup>39</sup>, lo que contrastaría con las preferencias de los polinizadores de trompa larga, los cuales prefieren flores profundas con nectarios<sup>40</sup>. La morfología de *S. arvensis*, al igual que la de muchas brassicáceas, está adaptada a la de los polinizadores de trompa corta y moscas, con corolas poco profundas y pétalos libres, néctar rico en fructosa y glucosa y néctar producido en cuatro glándulas situadas en la base del pistilo<sup>40</sup>.

Nuestros resultados apuntan a que dos grupos funcionales de polinizadores de trompa corta son los que realizan un mayor número de visitas: insectos de trompa corta y tamaño pequeño, como *Scaeva albomaculata* e *Hylaeus sp*; insectos de trompa corta y tamaño mediano, como *Andrena sp*, *Apis mellifera* o *Eristalis tenax*. Estos polinizadores, aunque visitan un número de flores por planta/disponibles similar independientemente de las densidades de *S. arvensis*, son los responsables de la respuesta discutida anteriormente, es decir, aumentan su frecuencia de visitas en presencia de altas densidades de planta nativa.

Trabajos previos han mostrado que la composición de las especies de plantas en la parcela modulan el tipo de polinizadores que entra a ellas, así los polinizadores pueden escoger en cada parcela qué planta visitar en función de preferencias innatas y de aprendizaje<sup>26,27</sup>. En un trabajo previo con *Nepeta cataria* también se ha visto que el efecto de la densidad de las nativas sobre el número medio de visitas dependía del tipo de visitante que entraba en la parcela, encontrando un efecto positivo cuando las visitas eran realizadas por abejas sociales de la familia Apoideae y negativo cuando las visitas eran realizadas por abejas solitarias de esta misma familia<sup>22</sup>. Aunque no analizado estadísticamente, en nuestro estudio, no se observó un efecto significativo de la densidad de la especie nativa sobre el número de visitas en relación al tipo de polinizador.

Finalmente, esperábamos que los cruces de polen dentro de la misma planta (geitonogamia) aumentasen a densidades muy bajas de plantas nativa. Nuestros resultados sugieren que, aunque no hay diferencias significativas entre los tratamientos (seguramente debida a un bajo tamaño muestral), existe una tendencia al aumento del número de flores visitadas en relación a las flores disponibles por estos dos grupos funcionales de polinizadores cuando la densidad de la especie nativa es baja. Esta tendencia apuntaría a la confirmación de nuestra hipótesis: la baja densidad de *Sinapis* provoca que el número de cruces geitonógamos aumente. Estos mismos resultados han sido encontrados en *Echium vulgare*<sup>41</sup>, pero no se cumplen en todas las especies; de hecho, en algunos casos se encontró un aumento de las tasas de polinización dentro de la misma planta (geitonogamia) cuando las densidades de la especie nativa son altas<sup>42</sup>.

Es ampliamente conocido el papel que los polinizadores tienen a la hora de ralentizar o facilitar las invasiones, y si el impacto probable de un invasor en los servicios de polinización se pueden pronosticar desde la morfología floral y el comportamiento de sus polinizadores<sup>16</sup>. Aunque en este estudio hemos analizado el aspecto cuantitativo de la polinización (número de visitas) es importante mencionar que sería interesante determinar también cuáles son los efectos de *O. pes-caprae* sobre *S. arvensis* desde un punto de vista cualitativo. Es esperable que la calidad de polen que *S. arvensis* reciba en presencia de *O. pes-caprae* tenga más contaminación con polen de esta última especie. En relación a esto, parece importante además conocer el efecto que los cruces geitonógamos tienen sobre el éxito reproductivo de *S. arvensis*. Sería interesante testar estas preguntas en trabajos futuros.

## 5. CONCLUSIONES

1. La especie invasora *Oxalis pes-caprae* no tiene efecto facilitador en cuanto a la atracción de visitas de polinizadores para la especie nativa *Sinapis arvensis*. Se trata de un efecto neutro en donde la presencia del invasor no afecta de modo alguno a los servicios de polinización de la especie nativa.
2. La densidad en la que *S. arvensis* se encuentra en la parcela afecta a la tasa de visitas de los polinizadores, aumentando estas tasas cuando la densidad de *S. arvensis* es alta.

3. Esta densidad, sin embargo, no afecta al número de flores visitadas por planta, al menos de una manera estadísticamente significativa, aunque se intuye una tendencia hacia un aumento del número de flores visitadas por planta en relación a las flores disponibles cuando la densidad de la especie nativa era baja (aumento de cruces geitonógamos).

4. Los grupos de polinizadores más comunes en *S. arvensis* son los polinizadores de trompa corta. Estos polinizadores de trompa corta hacen más visitas especialmente cuando las poblaciones de nativas se encuentran en alta densidad.

5. Se propone el estudio del éxito reproductivo medido como producción de frutos como un futuro trabajo interesante para testar tanto el efecto de *O. pes-caprae* en la calidad del polen que se deposita en *S. arvensis*, como el efecto del aumento de cruces geitonógamos en esta planta.

## CONCLUSIONS

1. There was not a facilitation effect, in terms of pollinators attraction, by the invasive plant *Oxalis pes-caprae* over the native plant *Sinapis arvensis*. Thus, a neutral effect was detected, with the presence of the invader no affecting the pollination services of the native plant.

2. *S. arvensis* density affected the pollinator visit rate, increasing the visit rate when the density of *S. arvensis* was high.

3. Native plant density did not affect significantly the number of flowers visited per plant. However, there was a trend to increase the ratio between flowers visited per plant and number of flowers available when the density of the native plant was low (increasing the self-plant crosses).

4. The most common pollinator functional group for *S. arvensis* is the short-tongued pollinators. These short-tongued pollinators conducted more visits, especially under the native plant high-density treatment.

5. Reproductive success studies, determined as fruit production, are proposed as future research to test the effect of the invasive *O. pes-caprae* both in the pollen quality and the increase of self-plant crosses (geitonogamy) in the native *S. arvensis*.

## 6. GLOSARIO

Agriophyta (Agriófitos): planta alóctona invasora introducida en los últimos 500 años (neófito) establecida de forma permanente en ambientes naturales y seminaturales.

Especie exótica o alóctona: se refiere a especies, subespecies o taxones, incluyendo sus partes, gametos, semillas o propágulos que pudieran sobrevivir o reproducirse, introducidos fuera de su área de distribución natural y de su área potencial de dispersión, que no hubiera podido ocupar sin la introducción directa o indirecta, o sin el cuidado del hombre<sup>43</sup>.

Especie nativa o autóctona: la existente dentro de su área de distribución y de dispersión natural<sup>43</sup> que se ha originado sin participación humana o que llega allí sin la intervención intencional de los seres humanos desde una zona en la que es nativas (sinónimo: taxón indígena)<sup>44</sup>.

Especie exótica con potencial invasor: especie exótica que podría convertirse en invasora en España, y en especial aquella que ha demostrado ese carácter en otros países o regiones de condiciones ecológicas semejantes<sup>43</sup> (cuya ocurrencia es debida a su introducción, intencional o accidentalmente, como resultado de la actividad humana). ``Invasor`` en referencia a las especies exóticas alude a especies que reclutan descendencia reproductiva, a menudo en grandes números, a distancias considerables de plantas madre y, por lo tanto, puede propagarse a una velocidad considerable<sup>44</sup>.

Geitonogamia: Polinización cruzada que se lleva a cabo entre diferentes flores de la misma planta.

Heteroespecificidad (polen heteroespecífico: HP): polen interespecífico que interfiere en el estigma de la flor por pérdida y disminución de polen legítimo<sup>14-16</sup>.

Invasión biológica: acción de una especie invasora debida al crecimiento de su población y a su expansión, que comienza a producir efectos negativos en los ecosistemas donde se ha introducido<sup>43</sup>.

Polen conespecífico (CP): Polen legítimo, específico o propio de una especie<sup>14-16</sup>.

Polinización o la dispersión legítima: la polinización o la dispersión que es eficaz. Un polinizadores legítima en contacto con los órganos reproductivos de las flores y transporta

el polen entre las flores. Un dispersor legítimo consume las frutas y transporta sus semillas a sitios adecuados para la germinación y el crecimiento de las plántulas.

Polinización autoincompatible (sin. Autoesterilidad): fenómeno por el cual un individuo no puede germinar en el estigma de una flor del mismo individuo o, si germina, no puede alcanzar los primordios seminales.

Limitación de polen: fenómeno de interferencia en polinización por el cual la planta se ve sometida a una reducción neta de polinización respecto a la máxima polinización teórica.



## ANEXO

Tabla resumen de resultados en donde se muestran media  $\pm$  2SE para las variables: **Var.1** Número de plantas visitadas/tiempo, **Var.2** Número de flores visitadas/tiempo, **Var.3** Numero de flores visitadas/disponibles/tiempo, **Var.4** Número de visitas/tiempo. Significado 1-5 (grupos funcionales de polinizadores): 1. Trompa larga, 2. Trompa corta-tam. pequeño, 3. Trompa corta-tam. mediano, 4. Lepidóptera, 5. Otros. ALTA: Alta densidad de *Sinapis*. BAJA: Baja densidad de *Sinapis*.

	Con <i>Oxalis</i>					Sin <i>Oxalis</i>				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Var.1</b>										
ALTA	0.22 $\pm$ 0.14	2.39 $\pm$ 0.85	0.69 $\pm$ 0.39	0.04 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.09	0.24 $\pm$ 0.18	1.72 $\pm$ 0.90	1.43 $\pm$ 0.64	0.02 $\pm$ 0.03	0.05 $\pm$ 0.06
BAJA	0.12 $\pm$ 0.24	0.43 $\pm$ 0.30	0.12 $\pm$ 0.11	0.00 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.07	0.13 $\pm$ 0.11	0.43 $\pm$ 0.54	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
<b>Var.2</b>										
ALTA	0.25 $\pm$ 0.16	1.43 $\pm$ 0.42	0.71 $\pm$ 0.45	0.04 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.09	0.30 $\pm$ 0.23	0.98 $\pm$ 0.38	1.14 $\pm$ 0.46	0.03 $\pm$ 0.07	0.24 $\pm$ 0.36
BAJA	0.07 $\pm$ 0.15	0.65 $\pm$ 0.48	0.25 $\pm$ 0.22	0.00 $\pm$ 0.00	0.06 $\pm$ 0.09	0.21 $\pm$ 0.25	0.17 $\pm$ 0.15	0.34 $\pm$ 0.24	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
<b>Var.3</b>										
ALTA	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
BAJA	0.00 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.03	0.01 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.02	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
<b>Var.4</b>										
ALTA	0.20 $\pm$ 0.13	1.63 $\pm$ 0.51	0.47 $\pm$ 0.25	0.04 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.09	0.16 $\pm$ 0.10	0.97 $\pm$ 0.40	0.66 $\pm$ 0.25	0.02 $\pm$ 0.03	0.05 $\pm$ 0.06
BAJA	0.04 $\pm$ 0.08	0.41 $\pm$ 0.28	0.10 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.07	0.11 $\pm$ 0.09	0.15 $\pm$ 0.10	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00

## BIBLIOGRAFÍA

1. Vilá M, Valladares F, Traveset A, Santamaría L, Vastro P. Invasiones biológicas. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas; 2008.
2. Baker HG. Origin, characteristics and modes of weeds. En: Baker HG, Stebbins GL, editors. The genetics of colonizing species: proceedings. New York: Academic Press; 1965. p. 147–172.
3. Vitousek PM. Beyond global warming: ecology and global change. Ecology. 1994;75(7):1861–1876.
4. Yang S, Ferrari MJ, Shea K. Pollinator behavior mediates negative interactions between two congeneric invasive plant species. Am. Nat. 2011;177(1):110–118.
5. Vidal MC, Ramírez N. Especificidad y nicho de polinización de especies de plantas de un bosque deciduo secundario. Ecotropicos. 2005;18(2):73–88.
6. Costa J, Ferrero V, Castro M, Jorge A, Afonso A, Loureiro J, et al. Pollen flow between flowers of the same morph in invasive populations of *Oxalis pes-caprae* L. in the western Mediterranean region. Plant Biosyst. 2014;150(5):1–9.
7. Morales CL, Aizen MA. Does invasion of exotic plants promote invasion of exotic flower visitors? A case study from the temperate forests of the southern Andes. Biol. Invasions. 2002;4(1-2):87–100.
8. Olesen JM, Eskildsen LI, Venkatasamy S. Invasion of pollination networks on oceanic islands: importance of invader complexes and endemic super generalists. Divers. Distrib. 2002;8(3):181–192.
9. Lopezaraiza-Mikel ME, Hayes RB, Whalley MR, Memmott J. The impact of an alien plant on a native plant-pollinator network: an experimental approach. Ecol. Lett. 2007;10(7):539–550.

10. Bartomeus I, Bosch J, Vilà M. High invasive pollen transfer, yet low deposition on native stigmas in a *Carpobrotus*-invaded community. *Ann. Bot.* 2008;102(3):417–424.
11. Chittka L, Schürkens S. Successful invasion of a floral market. *Nature.* 2001;411(6838):653.
12. Brown BJ, Mitchell RJ, Graham SA. Competition for pollination between an invasive species (Purple loosestrife) and a native congener. *Ecology.* 2002;83(8):2328–2336.
13. Moragues E, Traveset A. Effect of *Carpobrotus spp.* on the pollination success of native plant species of the Balearic Islands. *Biol. Conserv.* 2005;122(4):611–619.
14. Wilcock C, Neiland R. Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends Plant Sci.* 2002;7(6):270–277.
15. Morales CL, Traveset A. Interspecific pollen transfer: magnitude, prevalence and consequences for plant fitness. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2008;27(4):221–238.
16. Mitchell RJ, Flanagan RJ, Brown BJ, Waser NM, Karron JD. New frontiers in competition for pollination. *Ann. Bot.* 2009;103(9):1403–1413.
17. González-Varo JP, Biesmeijer JC, Bommarco R, Potts SG, Schweiger O, Smith HG, et al. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends Ecol. Evol.* 2013;28(9):524–530.
18. Feinsinger P. Effects of plant species on each other's pollination: is community structure influenced? *Trends Ecol. Evol.* 1987;2(5):123–126.
19. Ghazoul J. Pollen and seed dispersal among dispersed plants. *Biol. Rev.* 2005;80(3):413–443.
20. Hegland SJ, Boeke L. Relationships between the density and diversity of floral resources and flower visitor activity in a temperate grassland community. *Ecol. Entomol.* 2006;31(5):532–538.
21. Dauber J, Biesmeijer JC, Gabriel D, Kunin WE, Lamborn E, Meyer B, et al. Effects of patch size and density on flower visitation and seed set of wild plants: a pan-European approach. *J. Ecol.* 2010;98(1):188–196.
22. Sih A, Balthus MS. Patch size, pollinator behavior, and pollinator limitation in Catnip. *Ecology.* 1987;68(6):1679–1690.
23. Goodell K, Parker IM. Invasion of a dominant floral resource: effects on the floral community and pollination of native plants. *Ecology.* 2017;98(1):57–69.
24. Bjerknes AL, Totland Ø, Hegland SJ, Nielsen A. Do alien plant invasions really affect pollination success in native plant species? *Biol. Conserv.* 2007;138(1-2):1–12.
25. Morales CL, Traveset A. A meta-analysis of impacts of alien vs. native plants on pollinator visitation and reproductive success of co-flowering native plants. *Ecol. Lett.* 2009;12(7):716–728.
26. Lázaro A, Lundgren R, Totland Ø. Co-flowering neighbors influence the diversity and identity of pollinator groups visiting plant species. *Oikos.* 2009;118(5):691–702.
27. Hegland SJ, Totland Ø. Interactions for pollinator visitation and their consequences for reproduction in a plant community. *Acta Oecologica.* 2012;43:95–103.
28. Lavery TM. Plant interactions for pollinator visits: a test of the magnet species effect. *Oecologia.* 1992;89(4):502–508.
29. Johnson SD, Peter CI, Nilsson LA, Ågren J. Pollination success in a deceptive orchid is enhanced by co-occurring rewarding magnet plants. *Ecology.* 2003;84(11):2919–2927.

30. Molina-Montenegro MA, Badano EI, Cavieres LA. Positive interactions among plant species for pollinator service: assessing the "magnet species" concept with invasive species. *Oikos*. 2008;117(12):1833–1839.
31. Nasrallah JB. Plant mating systems: self-incompatibility and evolutionary transitions to self-fertility in the mustard family. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 2017;47:54–60.
32. Brown BJ, Mitchell RJ. Competition for pollination: effects of pollen of an invasive plant on seed set of a native congener. *Oecologia*. 2001;129(1):43–49.
33. Calandra DM, Di Mauro D, Cutugno F, Di Martino S. Navigating wall-sized displays with the gaze: a proposal for cultural heritage. *CEUR Workshop Proc.* 2016; 1621:36–43.
34. Hidalgo MI, Bootello ML, Pacheco J. Origen floral de las cargas de polen recogidas por *Apis mellifera* en Alora (Málaga, España). *Acta Botánica Malacit.* 1990;15:33–44.
35. Sanz Elorza M, Dana Sánchez ED, Sobrino Vesperinas E. Atlas de la plantas alóctonas invasoras en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente; 2004.
36. Castro S, Ferrero V, Costa J, Sousa AJ, Castro M, Navarro L, et al. Reproductive strategy of the invasive *Oxalis pes-caprae*: distribution patterns of floral morphs, ploidy levels and sexual reproduction. *Biol. Invasions*. 2013;015(8):1863–1875.
37. Steffan-Dewenter I, Tscharntke T. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia*. 1999;121(3):432–440.
38. Ferrero V, Castro S, Costa J, Acuña P, Navarro L, Loureiro J. Effect of invader removal: pollinators stay but some native plants miss their new friend. *Biol. Invasions*. 2013;15(10):2347–2358.
39. Cruden RW, McClain AM, Shrivastava GP. Pollination biology and breeding system of *Alliaria petiolata* (Brassicaceae). *Bull. Torrey Bot. Club.* 2007;123(4):273–280.
40. Corbet SA, Saville NM, Fussell M, Prÿs-Jones OE, Unwin DM. The competition box: a graphical aid to forecasting pollinator performance. *J. Appl. Ecol.* 1995;32(4):707–719.
41. Grindeland JM, Sletvold N, Ims RA. Effects of floral display size and plant density on pollinator visitation rate in a natural population of *Digitalis purpurea*. *Funct. Ecol.* 2005;19(3):383–390.
42. de Jong TJ, Waser NM, Price MV, Ring RM. Plant size, geitonogamy and seed set in *Ipomopsis aggregata*. *Oecologia*. 1992;89(3):310–315.
43. Real Decreto 1628/2011, de 14 de noviembre, por el que se regula el listado y catálogo español de especies exóticas invasoras. Boletín Oficial del Estado, núm. 298, (12 de diciembre de 2011).
44. Traveset A, Richardson DM. Biological invasions as disruptors of plant reproductive mutualisms. *Trends Ecol. Evol.* 2006;21(4):208–216.